



21 Aktenzeichen: 196 36 074.9
22 Anmeldetag: 5. 9. 96
43 Offenlegungstag: 26. 3. 98

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

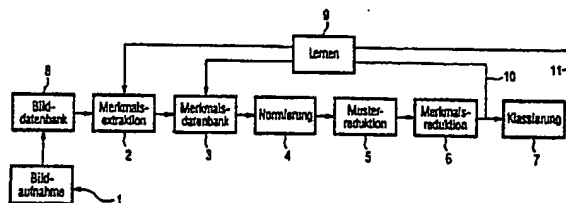
72 Erfinder:
Mengel, Peter, Dr., 82223 Eichenau, DE; List, Ludwig,
Dipl.-Ing., 81737 München, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 1 95 38 004 A1
HABERÄCKER »Digitale Bildverarbeitung-
Grundlagen und Anwendungen«, Carl Hanser Verlag
München Wien, 1985, S. 242, 243;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Lernfähiges Bildverarbeitungssystem zur Klassierung

57 Ein Bildverarbeitungssystem mit üblicher Bildaufnahme, Merkmalsextraktion und Klassierung wird durch die Modifizierung eines üblichen Klassifikators durch gezielte Datenreduktion verbessert. Der Klassifikator wird automatisch parametrisiert. Somit liegt ein lernfähiges Bildverarbeitungssystem zur automatischen Klassierung und Teileerkennung vor, welches sich aus Mustern aller Entscheidungsklassen selbst parametrisiert und unabhängig von einer expliziten Merkmalsstatistik ist. Unterstützend wird eine Bilddatenbank zur Archivierung der Bilddaten einer Stichprobe eingesetzt, so daß ein Fertigungsverfahren für eine Lernphase nicht übermäßig unterbrochen werden muß.



Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein lernfähiges Bildverarbeitungssystem zur Klassierung von zu prüfenden Teilen anhand von aufgenommenen Bildern, aus denen Merkmale extrahiert werden, die innerhalb einer Bildverarbeitung im wesentlichen zur Datenreduktion behandelt werden. Das System ist lernfähig, sodaß sein Einsatz aus einer Lernphase und einer Prüfphase besteht. Zur Lernphase werden mehrere Muster von Teilen bereitgestellt, die jeweils typisch für eine vorgegebene Entscheidungsklasse sind. Somit kann das Bildverarbeitungssystem variabel betrieben werden.

Die Ausgangssituation soll prinzipiell den Einsatz und die Parametrierung der technischen Bildverarbeitung beschleunigen und somit weitere Einsatzfälle ermöglichen. Dabei ist anzumerken, daß die technische Bildverarbeitung eine Schlüsselstellung für die immer stärker werdenden Automatisierungsbestrebungen einnimmt. Dies bezieht sich insbesondere auf die Qualitätssicherung bei Montageaufgaben, bei der Erkennung von Teilen oder bei der Überwachung. Schnell parametrierbare Systeme liefern einen Zeit- und einen Wettbewerbsvorteil. Bei der hier betrachteten Bildverarbeitung müssen Teile anhand spezifischer Merkmale, wie Form, Farbe und Konturen erkannt werden bzw. die Qualität bekannter Teile muß anhand dieser Kriterien beurteilt oder unterschieden werden. Die Aufgabe der Bildverarbeitung und der Mustererkennung ist dabei die Klassierung der Teile anhand von Merkmalssätzen, die aus dem Bild durch Bildvorverarbeitung und Merkmalsextraktion gewonnen werden.

Nur ein relativ geringer Teil aller potentiellen Einsatzmöglichkeiten der Bildverarbeitung in der Industrie ist bisher erschlossen worden. Ursachen dafür sind im wesentlichen die mangelnde Flexibilität vieler Verfahren, die zudem wenig robust sind. Beim industriellen Einsatz besteht jedoch die Schwierigkeit der Anpassung an neue Umgebungsbedingungen oder Aufgaben. Eine mangelnde Bedienerfreundlichkeit ist genauso wie zu hohe Kosten ein Nachteil für den Einsatz von leistungsfähigen Systemen. Somit kann in vielen Fällen ein solches Bildverarbeitungssystem nicht schnell amortisiert werden.

Standardbildverarbeitungssysteme, wie beispielsweise der VIDEOMAT-IV (von Siemens, München und Berlin, Deutschland) lösen diese Aufgabe durch sequentielle Abarbeitung eines Prüfprogrammes, das aus Prüfab schnitten mit standardisierten Prüfelementen besteht. Dieser Zusammenhang ist allgemein in Fig. 1 wiedergegeben, wobei das Prüfprogramm den gesamten Prozeß begleitet. Am Anfang eines jeden Vorgangs steht die Bildaufnahme, woraufhin aus den aufgenommenen Bildern die Bildmerkmale extrahiert werden. Lediglich diese Bildmerkmale bilden die Eingangsdaten für eine Klassierung.

Das Prüfprogramm und die Prüfelemente können vom Anwender aufgabenspezifisch erstellt und parametriert werden. Dies bedeutet insbesondere, daß Merkmale oder Klasseneinteilungen direkt in Anlehnung an die zu erbringende Aufgabe formuliert oder gebildet werden. Unter Parametrierung wird insbesondere ein Vorgang verstanden, der innerhalb eines Prüfsystems einen oder mehrere Parameter zeitweilig festlegt. Die Klassierung bildet immer den Abschluß des Prüfprogrammes und wird durch eine Entscheidungstabelle realisiert. Diese Tabelle führt die Klassierung aufgrund einer vorgegebenen arithmetischen und/oder logischen Verknüpfung der Merkmalswerte durch. Da die Klassierung als letztes Glied der Bildverarbeitungskette die Sortierung in Entscheidungsklassen vornimmt, kommt diesem Schritt eine entscheidende Bedeutung für die Funktion eines Bildverarbeitungssystems zu.

Nach einer Bildmerkmalsextraktion werden die Muster (Lernphase) im allgemeinen durch einen n-dimensionalen Merkmalsvektor $f = (f_1, f_2, \dots, f_n)_T$ im Merkmalsraum repräsentiert. Siehe hierzu Fig. 2. Durch die Klassierung werden den Mustern die sog. Entscheidungsklassen zugewiesen; K, L, M ... In der Regel bilden Muster derselben Klasse sog. Cluster im Merkmalsraum und die Klassierung hat die Aufgabe, die Klassen in optimaler Weise voneinander abzugrenzen, was einer Minimierung der Fehlalarme bzw. der Fehlerrate bei der Zuweisung von Teilen zu entsprechenden Entscheidungsklassen gleichkommt.

Die bestehenden Ansätze zur Durchführung der Klassierung basieren in der Regel auf der statistischen Entscheidungstheorie und optimieren den Klassifikator (Teil des Prüfprogrammes) aufgrund der Statistik im Merkmalsraum. Diese Ansätze haben sich in der Praxis nicht ausreichend bewährt, da häufig keine a priori Wahrscheinlichkeiten über die Merkmale, die zur Parametrierung des Klassifikators nötig sind, festgelegt werden können. Anders ausgedrückt kann die Anzahl der Muster bekannter Klassenzugehörigkeit zu gering sein, um die Wahrscheinlichkeitsverteilung im Merkmalsraum mit hinreichender Sicherheit aus der Signalstatistik zu berechnen. Außerdem hängt die Merkmalsstatistik stark vom Prozeß der Merkmalsgenerierung ab und kann beispielsweise bei veränderten Umgebungsbedingungen (Beleuchtung, Positionierung der Objekte und ähnliches) stark schwanken.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein lernfähiges Bildverarbeitungssystem zur Verfügung zu stellen, mittels dem eine schnellere Parametrierung der Bildverarbeitung ermöglicht wird und der Einsatz in der Produktion erweitert wird.

Die Lösung geschieht durch die Merkmale des Anspruchs 1.

Der Erfindung liegt der Erkenntnis zugrunde, daß der im Prüfprogramm enthaltene Klassifikator sich selbst parametrieren kann. Die Erfindung beschreibt daher ein lernfähiges System zur automatischen Klassierung und Teileerkennung. Dieses System parametriert sich selbst aus Mustern aller Entscheidungsklassen in der Lernphase und unabhängig von einer expliziten Merkmalsstatistik, die eine Entscheidung zu einer Musterklasse treffen würde. Dieses System erlaubt eine automatische Erkennung oder Klassierung von Teilen aus einer Präsentation von einigen repräsentativen Musterbeispielen. Durch die automatische Parametrierung kann das System damit problemlos und flexibel auch auf neue Musterklassen oder Umgebungsbedingungen angepaßt werden.

Hinter der Präsentation einer Teile- bzw. Musterauswahl aus den verschiedenen für die Entscheidungsklassen typischen Muster im Lernbetrieb wird eine automatische Bildaufnahme bereitgestellt. Ein einen Klassifikator enthaltendes Prüfprogramm erzeugt automatisch Bildmerkmale. Diese extrahierten Merkmale werden in einer

Merkmalen Datenbank für alle Muster der Stichprobe gespeichert. Eine Normierung und Skalierung der Merkmale sorgt für einen einheitlichen Bereich, innerhalb dem sämtliche Extremwerte platziert sind. Weiterhin werden die Anzahl der in der Datenbank abgelegten Muster, sowie die Anzahl der Merkmale reduziert. Somit liegen nur solche Muster und solche Bildmerkmale vor, die für die Klassierung relevant sind. Nach Abschluß einer Lernphase kann in der Prüfphase die automatische Prüfung unbekannter Muster zur Inspektion und zur Teileerkennung stattfinden. 5

Um eine eventuelle Wiederholung der Lernphase ohne erneute Bildaufnahme zu gewähren werden die von der Präsentation der Teile aufgenommenen Bilddaten in einer Bilddatenbank zur Archivierung der Bilder und der zugehörigen Entscheidungsklassen (Stichprobe) jeweils abgelegt. Die automatische Klassierung der Muster aus der Merkmalsdatenbank kann in vorteilhafter Weise mit der Ermittlung eines Zuverlässigkeitswertes des Klassifikators verknüpft sein. 10

Im folgenden wird anhand der schematischen Figuren ein Ausführungsbeispiel beschrieben.

Fig. 1 zeigt den Prüfablauf bei Standard-Bildverarbeitungssystemen nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 zeigt die Musterverteilung und die Entscheidungsklassen im n-dimensionalen Merkmalsraum,

Fig. 3 zeigt ein Bildverarbeitungssystem zur automatischen Klassierung entsprechend der Erfindung. 15

Fig. 1 zeigt, wie bereits erwähnt, ein Standardbildverarbeitungssystem, das die gegebene Aufgabe in der Regel durch sequentielle Abarbeitung des Prüfprogrammes löst, wobei das Prüfprogramm aus Prüfabschnitten mit standardisierten Prüfelementen besteht.

Fig. 2 zeigt die Repräsentation von Mustern nach der Merkmalsextraktion, die im allgemeinen durch n-dimensionale Merkmalsvektoren \vec{f} im Merkmalsraum dargestellt werden. Es sind in einem Ausschnitt des Merkmalsraumes Entscheidungsklassen K, L und M angedeutet. Ein neu auf tauchendes Muster a erhält einen Merkmalsvektor \vec{f}^a . Dieses Muster ist den bestehenden Entscheidungsklassen zuzuordnen. Dabei ist anzumerken, das Muster derselben Klasse in der Regel Cluster innerhalb des Merkmalsraumes bilden und die Klassierung hat die Aufgabe, die Klassen in optimaler Weise voneinander abzugrenzen. Weiterhin ist zu beachten, daß die Anzahl der in einer Entscheidungsklasse beinhalteten Muster, denen jeweils ein Merkmalsvektor \vec{f} zugeordnet ist, minimiert werden soll, um den Rechenaufwand zu begrenzen. Es gilt somit, innerhalb eines begrenzten Ausschnittes des Merkmalsraumes eine sinnvolle Verteilung der Entscheidungsklassen vorzunehmen und die Parametrierung des Klassifikators mit einer notwendigen aber minimalen Anzahl von Mustern und Merkmalen in der Lernphase durchzuführen. Falls die Zuverlässigkeit des Klassifikators nach der Lernphase noch nicht ausreichend ist, so kann die Parametrierung jederzeit (eventuell mit veränderter Merkmalsextraktion) erneut durchgeführt werden. Ist die Minimierung der Muster beispielsweise zum Ende der Lernphase noch nicht abgeschlossen, so kann dies auch nachträglich geschehen. 20 25 30

Bildaufnahme 1 und Bilddatenbank 8

Die Bildaufnahme und die Bilddatenbank 8 dienen zur Erfassung und Archivierung der Bilddaten einer Stichprobe. Dies betrifft den Lernbetrieb, in dem die Bilder entsprechend den Entscheidungsklassen zugeordnet werden, was dem sog. überwachten Lernen entspricht. Repräsentative Muster aller Klassen werden hier gesammelt und stehen somit in den nachfolgenden Verarbeitungsschritten jederzeit wieder zur Verfügung. Dadurch kann das Parametrieren des Klassifikators nach dem Sammeln der Stichprobe auch offline, d. h. ohne Betrieb der Bildaufnahmevorrichtung, durchgeführt werden. Dies ist für die Fertigungsanwendungen von entscheidender Bedeutung, da das Sammeln der Muster und das Trainieren des Klassifikators zum Lernen die Produktion nicht beliebig unterbrechen darf und daher häufig eine repräsentative Auswahl von Musterbildern nur offline möglich ist. 35 40

Merkmalsextraktion 2

In der Einheit 2 zur Merkmalsextraktion erfolgt die Vorverarbeitung und Informationsreduktion (Datenreduktion, Reduktion des Rechenaufwandes) der umfangreichen Bilddaten auf die wesentlichen Bildmerkmale. Es findet die zur Einhaltung schneller Taktzeiten in Produktionsprozessen notwendige Informationsreduktion statt. Die Auswahl der Merkmale ist ein wesentlicher Schlüssel zur Lösung der Erkennungsaufgabe. So werden beispielsweise von einem vom Anwender erstellten Prüfprogramm von dem Bildverarbeitungssystem vollautomatisch geeignete Bildmerkmale für den Klassifikator ausgewählt. 45 50

Merkmalsdatenbank 3

Beim Lernen werden aus allen Bildern der Lernstichprobe alle im Prüfprogramm definierten Bildmerkmale aus den Bildern extrahiert und in der Merkmalsdatenbank gesammelt. Die folgenden Verarbeitungsstufen greifen nur noch auf die Merkmalsdatenbank zu. Das Prüfprogramm wird automatisch mit den in den folgenden Verarbeitungsschritten berechneten Klassifikationsparametern ergänzt. Dadurch können verschiedene Klassifikationsverfahren verwendet werden. Der Lernmodus kann jederzeit unterbrochen werden, um beispielsweise noch neue Entscheidungsklassen hinzuzufügen. 55 60

Normierung 4

Ein wesentliches Problem bei den meisten Klassifikationsverfahren ist die Frage der richtigen Skalierung der Merkmale. Diese weisen in der Regel keinen einheitlichen Wertebereich auf und beeinflussen dadurch den Klassifikator. Erfindungsgemäß erfolgt in dieser Verarbeitungsstufe eine Normierung des Merkmalsraumes auf 65

eine einheitliche Metrik (gesamter Datensatz). Alle Elemente f_i des Merkmalsvektors f werden daher anhand der berechneten Extremwerte im Datensatz auf einen einheitlichen Bereich, beispielsweise von 0 bis 1 skaliert. Die Extremwerte sind beispielsweise Minimum und Maximum eines jeden Merkmals. Dies kann mathematisch wie folgt dargestellt werden:

$$f'_i = \frac{f_i - f_{i\min}}{f_{i\max} - f_{i\min}} \quad (G1.1)$$

Dadurch ist gewährleistet, daß der Klassifikator unbeeinflußt vom tatsächlichen Wertebereich der Merkmale arbeitet.

Musterreduktion 5

Die Stichprobe sollte möglichst eine repräsentative Auswahl aller Entscheidungsklassen enthalten. Da diese Forderung nur schwer realisierbar ist, sieht unsere Erfindung das Sammeln möglichst vieler Bilder in der Lernstichprobe vor. Ähnliche Muster, die keine zusätzlichen Informationen über die Merkmalsverteilungen enthalten und insbesondere bei komplexen Mustererkennungsaufgaben mit vielen verschiedenen Musterklassen in einem hochdimensionalen Merkmalsraum die Verarbeitungsgeschwindigkeit unnötiger Weise senken würden, werden daher in diesem Schritt wieder eliminiert. Die Musterreduktion ist daher ein wesentliches Kennzeichen der Erfindung zur Umsetzung des Verfahrens in industriellen Anwendungen. Dabei wird für die gesamte Stichprobe der Merkmalsabstand d^l eines Musters wie folgt berechnet:

$$d^l = \max(\|f_i^l - f_i^m\|) \forall (m \in M \wedge i \in N) \quad (G1.2)$$

Unterschreitet dieser Abstand d^l für alle Merkmale einen definierten Grenzwert d_{\min} , d. h. ist $d^l < d_{\min}$, so gilt das Muster als einem anderen ähnlich und wird aus der Stichprobe entfernt. Bei hinreichend großer Anzahl verfügbarer Muster kann der zulässige Grenzwert auch automatisch aus der Musterstatistik bestimmt werden.

Falls ähnliche Muster aus verschiedenen Entscheidungsklassen gefunden werden, ist die Repräsentation der Objektklassen im Merkmalsraum unvollständig. Der automatische Lernbetrieb wird somit unterbrochen und der Merkmalsraum muß erweitert werden bzw. die Einteilung der Entscheidungsklassen muß korrigiert werden. Um eine Unabhängigkeit von der speziellen Merkmalsmetrik zu erhalten, wird die Ähnlichkeit im normierten Merkmalsraum gemessen.

Merkmalsreduktion 6

In der Merkmalsdatenbank 3 werden im Lernbetrieb alle extrahierten Bildmerkmale abgelegt. Da das Prüfprogramm in der Regel eine Vielzahl von Merkmalen enthält, z. B. zur Positionsbestimmung, die jedoch keine Information zur Klassierung enthalten, ist die automatische Auswahl relevanter Merkmale ein wesentliches Kennzeichen der Erfindung. Ziel der Merkmalsreduktion ist daher die Selektion signifikanter und nicht signifikanter Merkmale für die Klassierung und Teileerkennung.

Als Maß für die Signifikanz eines Merkmals wird der mittlere Abstand eines Merkmal i zu allen Entscheidungsklassen (Inter-setabstand) als Gütemaß J_i definiert:

$$J_i = \frac{\sum_{k=2}^K \sum_{l=1}^{M_k} \sum_{m=1}^{M_k-1} \|f_i^l - f_i^m\|}{\sum_{k=2}^K M_k} \quad (G1.3)$$

$$\text{mit } \|f_i^l - f_i^m\| = \sqrt{(f_i^l)^2 - (f_i^m)^2} \quad (G1.4)$$

K Anzahl der Entscheidungsklassen
 M_k Anzahl der Muster in Entscheidungsklasse k
 f_i Merkmal i von Muster/
 $\| \dots \|$ Abstandsmaß

Je größer dieser Wert ist, desto besser kann eine Klasse anhand des betrachteten Merkmals unterschieden werden. Merkmale deren Signifikanz gering ist, werden eliminiert. Aus der Signifikanz der Einzelmerkmale werden automatisch die für die Klassierung geeigneten Merkmale ausgewählt und im Prüfprogramm gekennzeichnet. Zur Klassierung eines Musters werden aus allen berechneten Merkmalen nur noch die signifikanten

Merkmale verwendet.

Klassifikator

Die nach der Merkmalsreduktion 6 verbleibenden Merkmale werden einem Klassifikationsalgorithmus zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, die Klassenzugehörigkeit eines unbekannten Musters zu ermitteln. Wegen der ungenügend bekannten Signalstatistik der Merkmale sind statistische Verfahren zur Klassierung in der Regel weniger geeignet. Als Klassifikationsverfahren haben sich neben neuronalen Netzen insbesondere der k-nächste-Nachbar-Klassifikator (KNN Klassifikator) bewährt. Letzterer erfordert im Gegensatz zu anderen Klassifikationsverfahren keine Annahmen über die statistische Verteilung im Merkmalsraum und liefert darum auch bei einer geringen Anzahl von Mustern in der Lernstichprobe gute Ergebnisse. Dabei wird über eine Metrik der Abstand eines Musters zu allen in der Stichprobe enthaltenen Mustern berechnet und die Zugehörigkeit anhand der Muster mit den k-geringsten Abständen bestimmt. Als Abstandsmaß wird in der Regel der Euklidische Abstand verwendet.

Beim Lernen erfolgt nach der Muster- und Merkmalsreduktion ein vollständiger Test des Klassifikators. Dabei wird jedes in der Stichprobe enthaltene Muster, dessen Klassenzugehörigkeit bekannt ist, klassiert. Das Verhältnis der Anzahl der richtigen Entscheidungen zur durchgeführten Anzahl von Klassierungen definiert die Zuverlässigkeit des Klassifikators. Bei ungenügender Zuverlässigkeit sind die Merkmale nicht hinreichend und müssen ergänzt werden.

Lernen 9

Im Lernbetrieb erfolgt das Trainieren des Klassifikators durch die Präsentation einer Stichprobe mit den Bildern aller zu trennenden Entscheidungsklassen. Dabei wird der Klassifikator automatisch parametrisiert und ist danach in der Lage, unbekannte Muster den vorliegenden zunächst festgelegten Entscheidungsklassen zuzuordnen.

Das Verfahren eignet sich für Klassierungsprobleme in der Bildverarbeitung aller Art (Teilerkennung, Qualitätskontrolle, ...). Dabei hat sich der k-nächste-Nachbar-Klassifikator insbesondere für die Aufgaben mit einem hochdimensionalen Merkmalsraum bewährt. Bei diesen Anwendungen ist eine Clusterung im Merkmalsraum analytisch nur schwer zu bestimmen, so daß entscheidungstheoretisch basierende Klassifikatoren nicht einsetzbar sind. Die Methoden zur Muster- und Merkmalsreduktion ermöglichen eine Anwendung dieses Klassifikators auch in zeit- und ressourcenkritischen Fertigungsanwendungen. Durch den modularen Aufbau des Systems können jedoch auch andere Klassifikatoren und neuronale Netze eingesetzt werden. Im Vergleich zum KNN Klassifikator gewähren neuronale Netze eine definierte Verarbeitungszeit für die Klassierung, benötigen allerdings eine wesentlich längere Lernphase, während die Verarbeitungszeit beim KNN Klassifikator von der Anzahl der zu verbleibenden Muster abhängt.

Anwendungen der Erfindung betreffen Verfahren für universelle Standardbildverarbeitungssysteme, beispielsweise im Automobilbau oder in der Holzindustrie. Erste Automaten wurden bereits erfolgreich getestet.

Bezugszeichenliste

K, L, M Entscheidungsklasse

f, f₁, ..., f_n Merkmalsvektor

i, l, m Laufindizes

1 Einheit zur Bildaufnahme

2 Einheit zur Merkmalsextraktion

3 Merkmalsdatenbank

4 Einheit zur Normierung

5 Einheit zur automatischen Musterreduktion

6 Einheit zur automatischen Bildmerkmalsreduktion

7 Einheit zur automatischen Klassierung

8 Bilddatenbank

9 Lerneinheit

10, 11 Schleife

Patentansprüche

1. Lernfähiges Bildverarbeitungssystem zur Klassierung einer Vielzahl von zu prüfenden Teilen anhand von Merkmalssätzen, bestehend aus:

- einer Einheit (1) zur automatischen Bildaufnahme zur Erfassung der Bilddaten von Mustern aus allen anfänglich vorgegebenen Klassen in der Lernphase bzw. von zu klassierenden Teilen in der Prüfphase,
- einer Einheit (2) zur Merkmalsextraktion zur Erzeugung von Bildmerkmalen,
- einer Merkmalsdatenbank (3) zum Speichern der extrahierten Bildmerkmale für sämtliche in der Lernphase erfaßten Muster,
- einer Einheit (4) zur Normierung der Bildmerkmale,
- einer Einheit (5) zur automatischen Reduktion der Anzahl der in der Merkmalsdatenbank (3) gespeicherten Muster,
- einer Einheit (6) zur automatischen Reduktion der Bildmerkmale auf die für die Klassierung

relevanten Merkmale,

– einer Einheit (7) zur automatischen Klassierung bzw. Zuordnung eines unbekannten Musters zu einer Klasse, wobei ein Klassifikator anhand von für jeweilige Entscheidungsklassen typischen Mustern automatisch parametrisiert wird und in der Prüfphase unbekannte Muster vorliegenden Entscheidungsklassen zuordnet,

wobei über eine Lerneinheit (9) die Ausgänge der Merkmalsreduktion (6) und der Klassierung (7) in Schleifen (10, 11) auf die Merkmalsdatenbank (3) bzw. auf die Merkmalsextraktion (2) zurückgeführt werden, um die Anzahl der Muster und der Merkmale zu optimieren.

2. Bildverarbeitungssystem nach Anspruch 1, worin zwischen der Einheit (1) zur Bildaufnahme und der Einheit (2) zur Merkmalsextraktion eine Bilddatenbank (8) zwischengeschaltet ist.

3. Bildverarbeitungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Güte des Klassifikators zum Ende der Lernphase durch einen ermittelten Zuverlässigkeitswert anzeigbar ist, der das Verhältnis der Anzahl der richtigen Entscheidungen zu den insgesamt durchgeführten Entscheidungen darstellt.

4. Bildverarbeitungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Normierung der Merkmale in der Einheit (4) derart geschieht, daß sämtliche anhand von berechneten Extremwerten vorliegenden Elemente eines Merkmalsvektors in einem einheitlichen Bereich von 0 bis 1 liegen.

5. Bildverarbeitungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin in der Einheit (7) zur Klassierung ein neuronales Netz eingesetzt wird.

6. Bildverarbeitungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin als Klassifikator der k-nächste-Nachbar (KNN-Klassifikator) eingesetzt wird.

7. Bildverarbeitungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Anzahl der Entscheidungsklassen jederzeit veränderbar ist und der Klassifikator neu parametrisiert werden kann.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

